

CONTART 2018: VII Convención de la Edificación
30 mayo - 1 junio 2018; Zaragoza (Spain): Colegio Oficial de
Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza. Escuela
Universitaria Politécnica de La Almunia, p.937-947

091

PROGRAMACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL CONTROL DE CALIDAD DE LA OBRA CON METODOLOGÍA BIM

PÉREZ NAVARRO, JULIÁN¹; PÉREZ EGEA, ADOLFO²

*¹ Colegio Oficial Arquitectos Técnicos Región Murcia, Murcia, España
E-mail: gabinete@coaatmu.es, Web: <http://www.coatiemu.es>*

*² Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España
E-mail: adolfo.perez@upct.es, Web: <http://www.arte.upct.es/>*

PALABRAS CLAVE: Control de calidad; CTE; EHE; BIM; Programación; Seguimiento.

RESUMEN

La metodología BIM nos está permitiendo crear nuevos roles y procedimientos de trabajo, que, desde un punto de vista optimista, suponen una oportunidad para avanzar y hacer mejor las obras, y de otra, permite que las empresas se tecnifiquen, de manera que nuestro sector se parezca un poco más a otros industrializados.

Esta transformación afecta a todos los agentes y empresas que intervienen en las obras. Los Arquitectos Técnicos seguiremos desarrollando encargos profesionales tradicionales como el control de calidad, la seguridad y salud, el control económico, el análisis de proyecto, etc..., en un nuevo escenario más tecnológico.

Esta comunicación propone un análisis sobre la metodología de trabajo y la información que puedo extraer de un modelado BIM y sus familias, para de un lado, realizar un programa de control, y de otro, llevar el registro y seguimiento del control, tanto de productos, ejecución y obra terminada.

1. INTRODUCCIÓN

En la exposición de motivos de la Ley de Ordenación de la Edificación [1] se justifica que “la sociedad demanda cada vez más la calidad de los edificios” y entre las medidas que se establecen para aumentar la calidad de los edificios es la delimitación de las responsabilidades de todos los agentes de la edificación.

Nos centramos en las referentes al Director de Ejecución de la Obra. Así pues, de las relacionadas en el artículo 13 de la LOE, destacamos las siguientes:

“b) Verificar la recepción en obra de los productos de construcción, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.

c) Dirigir la ejecución material de la obra comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, de acuerdo con el proyecto y con las instrucciones del director de obra.

f) Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de la obra ejecutada, aportando los resultados del control realizado.”

El desarrollo normativo de estas obligaciones se realiza en el Código Técnico de la Edificación [2] y concretamente en su artículo 7 “Condiciones en la ejecución de las obras”, se establece que durante la construcción se realizará:

- a) Control de recepción en obra de los productos, equipos y sistemas que se suministren a las obras de acuerdo al artículo 7.2.
- b) Control de ejecución de la obra de acuerdo con el artículo 7.3.
- c) Control de la obra terminada de acuerdo con el artículo 7.4.

También tendremos que tener en cuenta la normativa que afecta a las estructuras de hormigón armado EHE-08 [3]. En este sentido, el control se estructura igualmente en:

- Recepción (Productos componentes, Hormigón, Acero y armaduras).
- Ejecución.
- Obra terminada.

Por tanto, independientemente del volumen de la obra, nos enfrentamos a un elevado número de controles que es necesario organizar, que cuentan con algunas metodologías publicadas [4] y [5], que tratan de facilitar su aplicación, pero no alivian el alto grado de exigencia.

¿La metodología BIM puede facilitar el cumplimiento de estas obligaciones?

2. PLAN Y PROGRAMA DE CONTROL

El proyecto de ejecución de edificación deberá incluir en su memoria un anejo con un plan de control que identifique cualquier comprobación que pudiera derivarse del mismo, así como la valoración del coste total del control, que se reflejará como un capítulo independiente en el presupuesto del proyecto.

Antes de iniciar las actividades de control en la obra, la Dirección Facultativa aprobará un programa de control, preparado de acuerdo con el plan de control definido en el pro-

yecto, y considerando el plan de obra del Constructor. El programa de control contemplará, al menos, los siguientes aspectos:

- la identificación de productos y procesos objeto de control, definiendo los correspondientes lotes de control y unidades de inspección, describiendo para cada caso las comprobaciones a realizar y los criterios a seguir en el caso de no conformidad
- la previsión de medios materiales y humanos destinados al control con identificación, en su caso, de las actividades a subcontratar
- la programación del control, en función del procedimiento de autocontrol del Constructor y el plan de obra previsto para la ejecución por el mismo;
- la designación de la persona encargada de las tomas de muestras, en su caso; y
- el sistema de documentación del control que se empleará durante la obra



Figura 1: Organización del control, documentos resultantes y agentes del proceso.

3. METODOLOGÍA BIM

Hasta la implementación de la metodología BIM en nuestro sector, el cumplimiento del proceso de planificación y programación del control se realizaba, ajeno a un sistema centralizado de información y con participación colaborativa de los distintos agentes implicados según la LOE (Dirección facultativa, constructor, entidades y laboratorios de control, suministradores de productos).

BIM (Building Information Modeling) significa utilizar una metodología de trabajo que conlleva la creación y desarrollo de una base de datos del edificio con representación gráfica tridimensional en constante actualización. La información contenida en este sistema se encuentra abierta para todos los integrantes del equipo, quienes pueden usarla, reutilizarla y optimizarla. Esta base de datos debe estar alojada en un servidor centralizado situado en una nube común a todos los agentes que tengan acceso al modelo.

Así pues, abordar cualquier proceso tradicional bajo esta nueva metodología de trabajo y en base a las herramientas informáticas y de comunicación por internet actuales implica numerosas ventajas. El modelo tiene la capacidad de aumentar su nivel de información.

Si tratamos de concretarlo con Revit, podemos indicar que el modelo es una base de datos de elementos interrelacionados, permitiendo que los diferentes elementos constructivos de un proyecto tengan representación gráfica y distintos ítems de información asociada. Estos ítems de información asociada se denominan en Revit parámetros. Revit divide estos ítems de información en 4 grandes tipos: parámetros de sistema, parámetros de familia,

parámetros compartidos y parámetros de proyecto. La mayoría de estos parámetros pueden ser a su vez parámetros de ejemplar o de tipo según se categoricen elementos o tipos de elementos. Estos ítems pueden contener a su vez diferente tipo de información (numérica, entero, texto,...), por tanto a los parámetros podemos añadirle información de diferente índole: fechas, aceptación o no, resistencias, etc.. Tratamos de abordarlo en los siguientes apartados de esta comunicación.

BIM Execution Plan (BEP)

El BIM Manager, o la persona física o jurídica que ejerza sus funciones, deberá al principio del proceso identificar los objetivos y criterios de calidad que se aplicarán tanto al proyecto (Plan de Control) como en la ejecución de la obra (Programa de Control).

Así pues, es indispensable que en la Matriz de Responsabilidades estén claramente asignadas las tareas de cada uno de los agentes intervinientes en el modelo BIM y en especial aquellas funciones que estén relacionadas con el Control de los parámetros de calidad.

Plan de Control de Calidad sobre modelos BIM

El modelo BIM deberá contener los parámetros a controlar de cada una de las unidades de obra. Para ello, los responsables del Plan de Control y Programa de Control, deberán definir sobre los elementos del modelo aquellos parámetros que le son exigibles, estableciendo los criterios de aceptación y/o rechazo.

Por ejemplo, sobre la unidad de inspección “Pilares de Hormigón” definirá parámetros de tipo:

- Geométrico, tales como dimensiones reales, la excentricidad respecto de sus ejes teóricos (rejillas), o desplome sobre la vertical de su eje.
- Resistencia de materiales, Resistencia del hormigón empleado, tipo de acero empleado en las armaduras.

Sobre los parámetros de tipo geométrico, todos los ejemplares del proyecto deberán cumplir con las condiciones expuestas. Por ello, desde el Plan de Control de Calidad se le asignará a cada uno de los elementos de la unidad de obra contenidos en el modelo, un parámetro de tipo asociado al grupo de parámetros Control de Calidad que defina la obligación de inspeccionar ese elemento. Por ejemplo, respecto de la unidad de inspección “*Pilares de Hormigón*”, comprobaremos su geometría, desplome y excentricidad respecto de los ejes, por lo que asignaremos un parámetro de tipo al que podemos llamar *Verificación geométrica* y le fijaremos el valor del parámetro en *obligatorio*. También definiremos otro parámetro de ejemplar para determinar la condición de aceptación o rechazo al que identificaremos como *Correspondencia Geométrica*, con dos valores binarios posibles, *Aceptado* y *Rechazado*.

Para el control de la resistencia del hormigón empleado, definiremos el parámetro en función del porcentaje de elementos o cantidades de materiales a inspeccionar. Por ejemplo, para verificar la resistencia del hormigón de la unidades de inspección estructurales “*Pilares de Hormigón*”, cuantificaremos, con los datos de las mediciones extraídas del modelo y los plazos de ejecución establecidos en la programación del modelo BIM para los elementos a controlar, los volúmenes de hormigón de la unidad de obra a inspeccionar e identificaremos los lotes existentes en la obra.

Sobre el modelo BIM definiremos para cada tipo presente en la Unidad de Obra a ins-

peccionar un parámetro de ejemplar, que identifique el lote al que pertenece, otro parámetro para designar la fecha en la que ha sido hormigonado, así como el resto de parámetros a inspeccionar.

4. RESULTADOS

A continuación, desarrollamos a modo de ejemplo la metodología a seguir para el Control de Calidad con Revit de algunas unidades de obra en fase de estructura.

Paso 1. Definición de parámetros compartidos.

Los parámetros compartidos pueden aparecer en varios proyectos o familias. Sirven para añadir datos específicos que no están predefinidos en una familia o plantilla de proyecto. Los parámetros compartidos son guardados en archivos independientes del proyecto.

- Definiremos un parámetro compartido de ejemplar llamado *Lote* con la siguiente serie de valores posibles: *PB*, *PI*, etc.
- Definiremos otro parámetro para identificar la Fecha de Hormigonado, con valores de ejemplo 20180101, con formato de número (Autodesk Revit 2017 no permite generar parámetros con formato de fecha).
- Definiremos el resto de parámetros de la Unidad de inspección según la figura 2

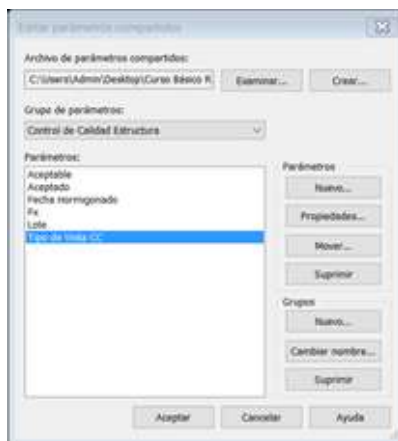


Figura 2. Autodesk Revit. Creación de parámetros compartidos.

Paso 2. Introducción de parámetros compartidos en el proyecto

Crearemos los parámetros de proyecto correspondientes a cada uno de los parámetros compartidos recientemente creados, asignándolos a las categorías correspondientes a elementos de modelo estructural, *Cimentación Estructural*, *Muros*, *Suelos*, y *Pilares Estructurales*.

Las celdas resaltadas en rojo denotan que no se cumplen los requisitos previos para la aceptación del lote correspondiente, al ser el criterio de aceptación $F_x \geq F_{ck}$ (Columna F, ocupada por el campo de propiedades de los materiales especificado en el proyecto *Materia estructural: resistencia a compresión*), deberemos en el campo Aceptable, Columna H decidir la aceptabilidad del lote en función de ese criterio.

En el campo Aceptado, columna I, la Dirección Facultativa decidirá en función de las pruebas complementarias que estime convenientes de entre las recogidas en la EHE-08, decidirá si definitivamente acepta o no acepta el lote afectado por la no aceptabilidad inicial del lote.

Paso 4. Configuración de vista 2D/3D.

Mediante el empleo de los filtros adecuados en vistas de planta, alzado, sección o tridimensional, aplicados a las categorías estructurales presentes en el modelo, podemos hacer que determinados elementos que cumplen con algún criterio de discriminación sean representados gráficamente de forma diferenciada. Así en la figura 5 se representa la configuración de un filtro configurado para los elementos estructurales que cumplan con la condición Lote = C1. Esta configuración facilita la agrupación e identificación de los elementos asignados a cada uno de los lotes.

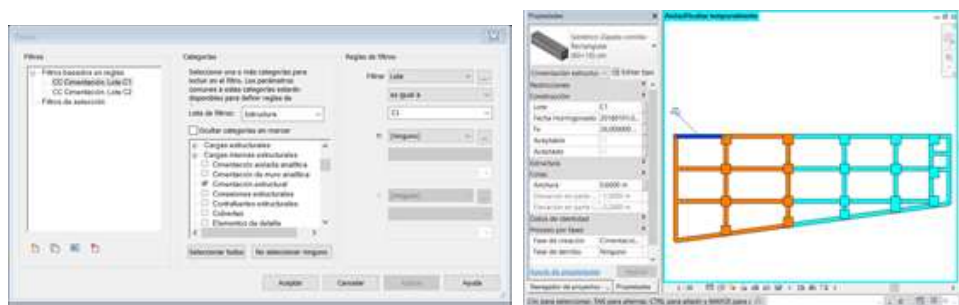


Figura 5. Configuración de filtros por *Lote* para elementos de cimentación (IZQ) y Visualización en planta por colores de la asignación de elementos de cimentación por lotes (DCHA).

Visualización 2D

En la figura 5 (dcha) se puede ver como se representa una planta de cimentación en una vista cuya representación ha sido filtrada según los valores del parámetro *Lote*, diferenciándose entre los Lotes C1 y C2 según los colores de los elementos grafiados. Se puede observar que el elemento de cimentación seleccionado (en azul), se corresponde con la propiedad *Lote*=C1

Visualización 3D

Siguiendo un procedimiento similar al ya empleado, crearemos filtros de vista para cada una de las combinaciones posibles de aceptación de un lote, asignándolo a las categorías estructurales presentes en el modelo, según dos criterios de aceptación *Aceptable*, según EHE, *Aceptado*, según las determinaciones de la Dirección Facultativa.

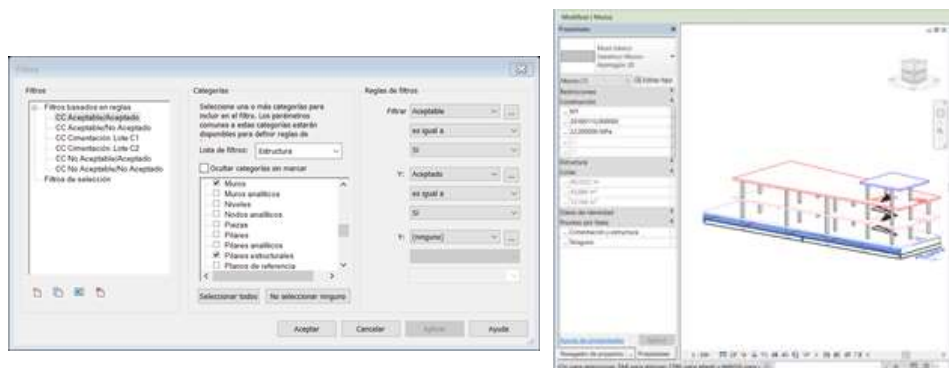


Figura 6. Filtros de visualización para los criterios de aceptación o rechazo (IZQ) y Visualización de una vista 3D filtrada según los parámetros de aceptación del Control de Calidad (DCHA).

Posteriormente desde el cuadro de diálogo Visibilidad/Gráficos de la vista 3D correspondiente le asignaremos una configuración determinada a su visualización según el siguiente esquema.

Nombre	Visibilidad	Proyección/Superficie			Corte		Tramado
		Líneas	Patrones	Transparen...	Líneas	Patrones	
CC Aceptable/No Acepta...	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
CC No Aceptable/Acepta...	<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>
CC Aceptable/Aceptado	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
CC No Aceptable/No Ac...	<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 7. Configuración de parámetros de visibilidad por filtros de una vista, en este caso 3D.

Programa de control de la obra.

El Programa de Control de Calidad de la obra recogerá la identificación todos aquellos parámetros que deban ser tenidos en cuenta para la buena ejecución de la obra, bien porque así esté especificado en el Plan de Control definido sobre el modelo BIM, o bien por exigencias normativas o de criterios de calidad internos. El Programa de Puntos de inspección sobre el Modelo BIM se materializará siguiendo los mismos pasos definidos para el Plan de Control, incorporando al modelo aquellos parámetros que se definan como necesarios para el control de la correcta ejecución.

Resulta indispensable en un proceso industrializado que todos los agentes intervinientes en el proceso de construcción sean conscientes de cuáles son los requisitos de calidad que el proyecto va a demandar en las etapas tempranas del proyecto, antes de la ejecución, y en especial antes de la contratación de las obras. La colaboración entre todos los agentes ayudará a definir con mayor precisión estos requisitos y adecuarlos a las características y circunstancias del proyecto.

Herramientas en el Control de Calidad.

El seguimiento del Control de Calidad lo podemos gestionar directamente desde el software de modelado, bien directamente desde el entorno gráfico o mediante el empleo de tablas de planificación y consulta editables.

El segundo método resulta más potente para la gestión de múltiples parámetros, tanto de Tipo como de Ejemplar. Permite la elaboración de filtros de forma rápida que permiten seleccionar con un solo clic aquellos elementos que verifican alguna condición previamente impuesta.

Además, las tablas de planificación o consulta permiten su exportación a otras plataformas, para su gestión desde ordenadores, tablets o PDA's que no tengan instalado "software BIM".

Por ejemplo podemos exportar las tablas a Excel o Word para desde allí ir directamente introduciendo los valores establecidos para los parámetros de los elementos a inspeccionar. Estas tablas pueden ser posteriormente vinculadas al modelo para reintegrar los datos de seguimiento del Control de Calidad en el modelo para su visualización y análisis.

Exportación a Excel de las tablas creadas e importación de datos desde Excel.

La gestión de los valores de los parámetros empleados en el Control de Calidad puede ser realizado elemento a elemento desde las vistas del modelo, de modo global desde una tabla de planificación de Revit, o de forma externa desde una base de datos ODBC o una hoja de cálculo en formato .XLS o .XLSX (Excel). Para exportar el contenido de una tabla de planificación en formato .XLS o .XLSX podemos emplear algún software complementario sobre Revit. Para el ejemplo hemos usado una versión de evaluación de ScheduleSync Pro, desarrollado por BIM Coder. En la Figura 8 podemos ver el entorno de exportación del software empleado.

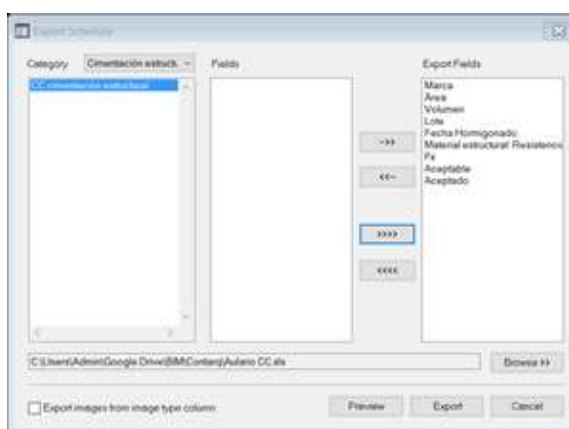
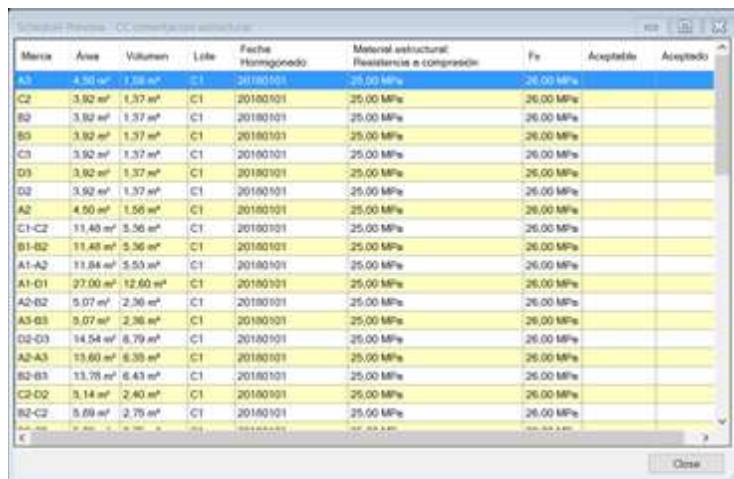


Figura 8. Cuadro de diálogo para la exportación de tabla de planificación de cimentación estructural.

Los datos exportados pueden ser modificados con un editor de hojas de cálculo, (Excel) y vueltos a reintegrar en Revit actualizando los valores de los parámetros en la tabla correspondiente.



Marca	Área	Volumen	Lote	Fecha Homologado	Material estructural	Resistencia a compresión	Fx	Aceptable	Aceptado
A3	4.50 m²	1.08 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
C2	3.92 m²	1.37 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
B2	3.92 m²	1.37 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
B3	3.92 m²	1.37 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
C3	3.92 m²	1.37 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
D3	3.92 m²	1.37 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
D2	3.92 m²	1.37 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
A2	4.50 m²	1.08 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
C1-C2	11.40 m²	5.36 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
B1-B2	11.40 m²	5.36 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
A1-A2	11.40 m²	5.36 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
A1-C1	27.00 m²	12.60 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
A2-B2	5.07 m²	2.36 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
A3-B3	5.07 m²	2.36 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
D2-C3	14.54 m²	6.79 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
A2-A3	11.60 m²	6.35 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
B2-B3	11.76 m²	6.43 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
C2-D2	3.14 m²	2.40 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		
B2-C2	5.09 m²	2.75 m³	C1	20180101		25.00 MPa	26.00 MPa		

Figura 9. Previsualización de la tabla generada por el software según los campos incorporados.

Conviene garantizar la integridad de los datos y la correspondencia unívoca entre campos evitando modificaciones en el modelo antes de completar el ciclo de Exportación / Importación.

Nuevos horizontes en el control de calidad de obra.

Nubes de puntos.

Con las nubes de puntos de puntos obtenidas mediante escaneado 3D se abre un nuevo horizonte en el control de calidad de obras de construcción. La precisión que obtienen los equipos actuales permite obtener tolerancias geométricas de hasta 3 mm. Rápidamente y desde el ordenador del trabajo podemos obtener datos de geometría excentricidad o desplome, alejados de un entorno a veces plagado de riesgos, sin necesidad de permanecer más tiempo que el necesario para instalar en lugar seguro los equipos de escaneado. Además nos puede permitir identificar otro tipo de parámetros, como por ejemplo identificar el número de barras de la armadura instalada o el tipo de acero y diámetro mediante la identificación de barra a través del su corrugado.

Empleo de realidad aumentada

En la misma línea que en el apartado anterior, mediante el empleo de la tecnología de realidad aumentada, podemos superponer el modelo virtual sobre el modelo anterior e identificar aquellos elementos que están ejecutados y todas sus propiedades. Por ejemplo sobre una instalación de fontanería, podemos identificar su trazado sus puntos de consumos, materiales de las cañerías, diámetros de cada tramo, aceptando o rechazando el elemento según corresponda según las características especificadas en el modelo.

5. CONCLUSIONES

Sin duda nos encontramos ante un nuevo escenario para el control de calidad de nuestras obras. La metodología BIM ofrece múltiples ventajas como la posibilidad de trabajo

colaborativo, anticiparnos a los errores, etc., pero también exige una mayor cualificación y tecnificación de los agentes.

Plantear el control de calidad de obra con metodología BIM, posibilita tener a nuestro alcance información en tiempo real para toma de decisiones y con esta metodología la incorporación al modelo se puede hacer de manera colaborativa (en función a los roles establecidos). Además estos datos quedan guardados durante su ciclo de vida.

Desde este instante, ya podemos plantearnos gestionar los apartados del control de calidad de la obra que nos interese con metodología BIM, con la interrelación que hemos expuesto con Revit. Es necesario decir, que la sistemática de trabajo hace necesario intervenir en el modelo modificando sus parámetros, elemento a elemento, lo que puede resultar poco eficaz.

Así pues, nos encontramos ante un reto y oportunidad para la profesión, en una de las obligaciones y funciones técnicas que nos otorga la LOE. Por tanto, desarrollar plugins de conexión con Revit para automatizar estos procesos, es una cuestión sin resolver en la que debemos trabajar.

6. REFERENCIAS

- [1] Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. BOE núm. 266 de 06/11/1999.
- [2] Real Decreto 314/2016, de 17 marzo, por la que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. <http://www.codigotecnico.org>.
- [3] Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).
- [4] Pérez Navarro, J., Campillo Domínguez, L., Rosa Roca, N. (2008). *Documentación del control de la obra en cumplimiento del CTE*.
- [5] Pérez Navarro, J., & Campillo Domínguez, L. (2011). Manual práctico de control de calidad en la EHE-08.